

용접(용단)작업 화재사례 및 예방대책

글 이흥수 KFPA 부설 방재시험연구원 화재조사센터 대리

1. 머리말

용접은 오랜 옛날부터 금속의 이용과 함께 내려온 공작법 중에 하나로, 제1~2차 세계대전 이후 무기제작에 따른 연구로 인해 철강 및 비철 금속의 용접에 이르기까지 눈부신 발달을 이루었다. 그 결과 조선, 차량, 자동차, 항공기, 건축, 기계, 가정제품 등에 이르기까지 제작이나 수리보수 등의 금속공업에 널리 이용되고 있다. 이처럼 산업의 발달에 있어서 큰 역할을 담당해왔던 용접임에도 불구하고, 그 일면에는 화재라는 잠재위험이 자리잡고 있다. 실례로 2011년 한 해 동안 전체 산업장비 화재 중 용접화재가 차지하는 비율은 약 30%에 육박하였으며, 그로 인한 재산피해도 상당했다. 대부분의 용접화재는 훈소과정을 거치기 때문에 초기에 쉽게 발견되지 않으며, 화재 발생 시에는 그 피해정도를 가늠할 수 없을 정도이다. 지난 2008년 경기도 이천에서 발생한 냉동창고 화재(사망 40명, 부상 10명)를 보아도 그러함을 알 수 있다. 따라서 용접화재 사례를 통하여 그 발생원인을 분명하게 하고, 적절한 예방대책을 마련하여 동종재해 또는 유사재해를 방지하여야 할 것이다.

2. 일반사항

가. 용접의 정의

용접(Welding)은 다음의 두 가지 방법을 모두 일컬어 용접이라고 한다. 하나는 접합하고자 하는 2개 이상 물체(주로 금속)의 접합부분을 용융 또는 반응용 상태로 하고, 이러한 접합부분에 용가재(용접봉)를

넣어 접합(용접; Fusion Welding)하거나, 접합부분을 적당한 온도로 가열하거나 또는 냉간상태에서 압력을 주어 접합(압접; Pressure Welding)시키는 방법, 두 번째는 모재를 전혀 녹이지 않고 모재보다 용융점이 낮은 금속(납의 일종)을 녹여 접합부에 넣어 표면장력으로 접합(납접; Brazing and Soldering)시키는 방법이다. 을 일컬어 용접이라고 한다.

나. 용접방법에 따른 분류

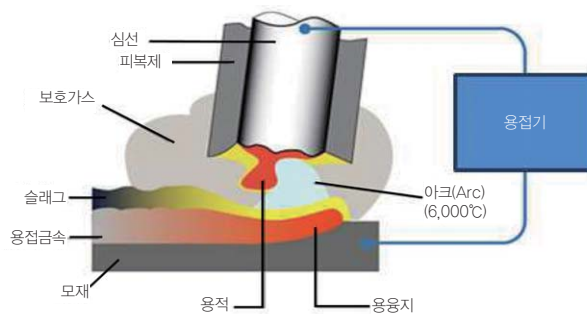
일반적인 용접방법으로는 70~80여 종류가 있으며, 일상생활에서 널리 사용되고 있는 방법으로는 아크용접과 가스용접(용단)이 대표적이다.

(1) 아크용접

전기회로에 있는 2개의 금속 또는 탄소단자를 서로 접촉시켜 전류를 흐르게 하고 이를 조금 떼어 놓으면 청백색의 아크(Arc)가 발생하여 고열을 발하게 된다. 이 열로 단자는 소량 기화하여 전류의 통로가 되고 전류의 흐름은 계속된다. 이 때 발생하는 열은 금속을 용융시키는 것이 가능하고 발생된 열을 이용하여 모재의 접합하려는 부분을 용융하여 접합하고 혹은 금속면에 따른 금속을 용착시키는 용접을 아크용접이라 한다¹⁾.

(가) 아크용접의 열적특성

아크는 청백색의 강렬한 빛과 열을 내는 것으로 온도가 가장 높은 부분(아크 중심)의 최고온도는 약 6,000℃에 달하며, 보통 3,500~5,000℃ 정도이다. 이 열에 의해 용접봉과 모재의 일부가 녹게 되는데 이 때 녹은 모재의 깊이를 용입, 모재가 녹은 부분을 용융지라 하며, 여기에 용접봉이 녹아 이루어진 용적이 용융지에 용착되고 모재의 일부로서 융합되어 용착 금속을 만든다²⁾.



[그림 1] 아크용접의 원리

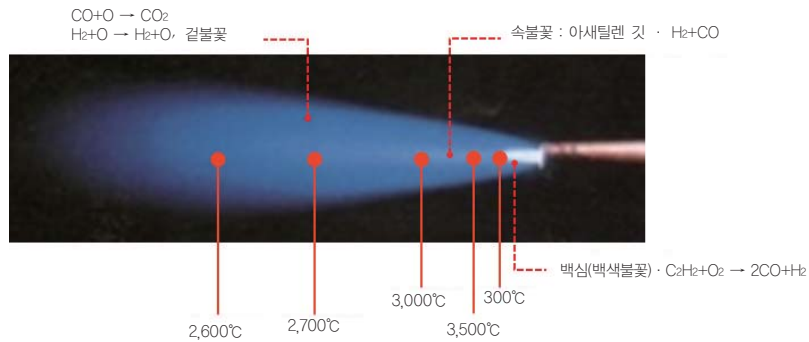
1) 참고문헌 : 산업안전보건공단, "용접작업안전", 안전보건, 통권 216호, 2007.
2) 참고문헌 : 박종우, "정밀 용접공학", 일진사, 2011.

(2) 가스용접(용단)

가스용접법은 가연성 가스와 산소와의 반응 시에 생기는 고열, 즉 가스 연소열을 용접 열원으로 사용하는 용접법이다. 가연성 가스로는 아세틸렌(C₂H₂), 프로판(C₃H₈), 부탄(C₄H₁₀), 석탄가스, 천연가스 혹은 수소(H₂) 등 각종의 것이 이용되나 이들 가스 염 중 산소-아세틸렌 염은 가장 화염온도가 높고 화염조절이 용이하며 모재에 끼치는 악영향이 적어서 공업적으로 가장 널리 이용된다. 용단작업은 자재 절단을 위한 용도로 산업현장에서 광범위하게 사용되고 있는데 특히 액화프로판가스의 양산화에 따라 절단뿐만 아니라 가열 용으로도 산소-프로판 가스 염의 이용이 늘고 있다.

(가) 가스용접(용단)의 열적특성

가스용접(용단)의 품질은 가스불꽃에 달려있으며, 그러한 가스불꽃은 점화 후 산소를 분출시키면서 매연이 없어지고 팁 끝에는 흰색의 백심과, 백심 주위로 푸르스름한 속불꽃이 생긴다. 속불꽃 끝 쪽으로는 투명한 청색의 화염을 볼 수 있다.(그림 2 참조)



[그림 2] 가스용접(용단) 불꽃의 구성과 열적특성

3. 용접작업의 화재위험성

가. 스파터(Spatter) 현상(불티· 불똥 튀김 현상)

용접에서 용접봉 끝 또는 용융지에서 작은 입자의 용적(Droplet)들이 비산되는 현상을 스파터 현상이라 하며, 아크용접에서는 용접봉과 모재의 수분에 의한 기포의 방출, 가스폭발, 아크 휨, 과대전류, 긴 아크, 운봉각도 부적당, 낮은 온도의 모재일 경우 이러한 현상이 발생하게 된다. 가스용접(용단)에서는 용접(용단)불꽃의 세기가 강할 경우 스파터가 많이 발생하게 되며, 그로인해 작업부위 주위로 비산하는 불똥이 증가하게 된다.

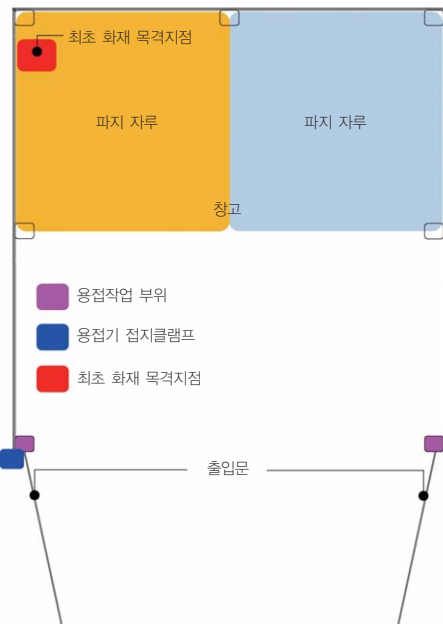
나. 용접불티·불뚝의 특성

용접불티의 비산거리는 무풍 시 약 11m 정도이며, 이러한 불티 또는 불뚝이 적열되었을 때의 온도는 약 520~1,400℃ 정도로서 그 온도는 가연물을 착화시키기에 충분한 온도이다. 이론적으로 고체가연물의 점화원에 의한 발화온도가 약 250~450℃인 점을 감안하면 용접불티·불뚝에 의한 발화가능성은 상당하다고 할 수 있다.

4. 용접(용단)작업 화재사례

가. ○○공장 화재사례

- (1) 날짜 및 장소 : 2011년 12월, 경남
- (2) 화재발생 개요



[그림 3] 가스용접(용단) 불꽃의 구성과 열적특성

는 용접부위 하부로 비산된 용접불티의 흔적으로서 작업 중에 불티가 주위로 비산했음을 알 수 있는 증거이다.

[사진 5]는 출입문의 내측부분의 상황을 보여주고 있는 사진으로서, 사진만으로는 점화원으로 작용할 만한 특이사항이 보이지 않는다. 하지만 [사진 6]에서 보이는 자석 적출법을 통해 비산된 용접불티·불

화재는 파지를 저장하는 창고에서 발생하였으며, 당시 창고에서는 출입문을 설치하기 위한 아크용접작업을 실시하였다. 목격자에 의하면 용접작업은 약 3시간 동안 계속되었으며, 출입문 설치작업을 종료하고, 주변을 정리하는 과정 중 창고의 내측에서 최초로 화염이 목격되었다고 한다.

(3) 발화원인

화재가 발생하기 전 창고에서는 출입문을 설치하기 위한 용접작업을 실시하였으며, 창고의 전면 및 각 출입문 주위에는 아크용접을 실시한 흔적이 남아있다. [사진 2]는 창고의 전면 출입문 및 주위부분의 상황이며, 집지클램프 등 용접작업의 흔적이 보인다.

[사진 3]은 출입문의 경첩에 대하여 아크용접을 실시한 흔적이며, 용접부위 주변에는 불티가 비산하여 금속면에 고착되었음을 알 수 있다. [사진 4]

똥의 흔적을 찾아낼 수 있었으며, 이와 같은 사실을 통해 용접작업 부위에서는 스파터 현상이 많이 발생했음을 알 수 있다. [사진 6]의 ○표지 안에 있는 물질은 용접불티·불똥의 흔적이다.



[사진 1] 화재가 발생한 창고



[사진 2] 사진 1의 □부분



[사진 3] 사진 2의 □부분



[사진 4] 사진 2의 □부분



[사진 5] 출입문의 내측부분의 상황



[사진 6] 사진 5의 □부분

일반적으로 용접불티의 비산거리는 무풍 시 약 11m에 해당하기 때문에 용접작업 부위가 아닌 다소 이격된 부분에서도 화재가 발생할 수 있으며, 용접작업부위에서 약 6~7m가량 이격된 창고 후면에서 최초로 화재가 발생하였다는 목격자의 설명, 동 부분에서 화재 진압

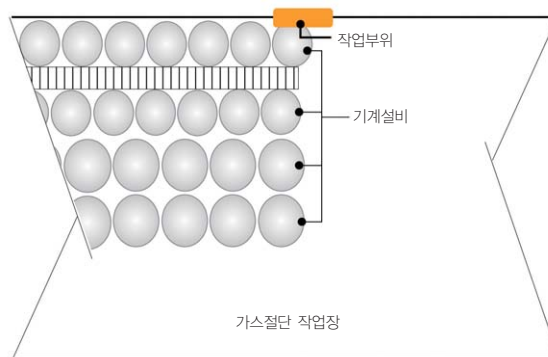
의 흔적이 보이는 점, 용접불티·불뚝은 적열 시 약 520~1,400℃인 점 등을 종합하여볼 때 발화원인은 용접불티·불뚝의 비산에 의한 착화로 판단할 수 있다.

나. ○○공장 화재사례

(1) 날짜 및 장소 : 2012년 2월, 경남

(2) 화재발생 개요

화재는 공장의 지붕에서 발생하였으며, 당시 공장에서는 지붕을 철거하기 위한 가스절단 작업을 실시하였다. 절단작업의 시작과 함께 지붕의 마감재로 사용된 발포우레탄이 착화되었으며, 그로 인해 지붕 마감재가 전소되고 주위의 기계설비가 화재로 인하여 열변형 피해를 입은 사고이다.



[그림 4] 화재현장의 공장 개략도

(3) 발화원인 검토

공장에서는 지붕을 철거하기 위하여 가스절단 작업을 실시하였으며, 절단작업의 시작과 함께 지붕 내 측에 마감재로 사용된 발포우레탄이 토치화염에 의해 착화되어 화재가 발생하였다. [사진 8]은 화재가



[사진 7] 화재가 발생한 공장



[사진 8] 전소된 지붕 마감재(발포우레탄)

발생한 공장의 지붕이며, 화재로 인하여 전소된 상황임을 알 수 있다.

[사진 9]와 [사진 10]은 가스절단 작업을 실시한 작업부위 및 주위부분의 연소상황이며, 동 부분은 전소된 상태로서 가스절단의 흔적은 남아있지 않은 상태이다.



[사진 9] 가스절단 작업부위 및 주위부분



[사진 10] 사진 9의 마부분(작업부위)

[사진 11]은 가스절단 작업이 실시되었음을 알 수 있는 산소용기와 LPG용기이며, [사진 12]는 가스절단 작업장으로 유도되었던 가스공급용 호스가 바닥으로 떨어진 흔적으로서, 화재로 인하여 호스 중간부분이 연소되어 절단된 상태이다.



[사진 11] 산소용기와 LPG용기



[사진 12] 연소된 가스공급용 호스

가스절단은 사전에 절단하려는 재료(강 또는 합금강)를 약 850~900℃로 예열하는 것이 일반적인 공작법이며, 이러한 예열과정을 행한 후 고압의 산소를 불어내어 재료의 예열부위를 절단하는 것이 가스절단의 원리이기 때문에 이와 같은 순서로 작업이 행하여 질 경우에는 예열불꽃에 의해 발포우레탄이 착화되어 화재가 발생하게 된다.

5. 용접작업 화재예방 대책

용접작업 시 가연물로 작용할 수 있는 잠재적 위험요인을 제거하는 방법으로 다음과 같은 발화 예방 대책이 있다.

가. 작업장 주위 가연물의 제거 또는 차폐

- (1) 가연물이 작업장 주위 바닥에 떨어져 있는 경우 반경 11m(KFS 929 참조)까지 청소를 실시한다.
- (2) 가연성 바닥재로 마감된 장소에서 작업을 실시할 경우에는 물을 뿌려 적셔 주어야 하며, 모래를 깔든가 내화성 차폐물로 방호해야 한다.
- (3) 작업장 주위의 모든 가연물을 작업 현장에서 수평거리 11m 이상 이격해야 하며, 이격이 불가능할 경우에는 가연물을 방화 덮개, 금속차폐물, 내화방호물 등으로 보호조치 해야 한다.
- (4) 용접작업장 주위는 차폐물로 불티의 비산을 방지해야 한다.
- (5) 용접작업 종료 후에도 주기적으로 작업장을 순찰하여 훈소 가능성이 있는 부분을 점검해야 한다.
- (6) 배관 등의 보온재로 사용된 가연성 단열재는 제거한 후 작업을 실시해야 한다.

나. 용접작업의 금지

- (1) 용접작업을 실시하는 장소가 안전한 장소인지 확인이 되지 않은 상태에서는 용접작업을 실시하지 않으며, 그러한 안전성을 확인하는 화기책임자의 허가 없이는 작업을 실시하지 않는다.
- (2) 도장작업장 등 인화성 물질을 취급하거나 저장하는 장소에서는 용접작업의 실시를 금지해야 한다.
- (3) 가연성 벽, 주위 가연물과 접촉하는 금속에 대한 용접작업은 금지해야 한다.

다. 기타

- (1) 건축물의 내벽 및 외벽을 불연화하여 다른 장소로의 연소 확대를 방지한다.
- (2) 용접부위와 연결된 기계설비에 대한 피해를 경감시키기 위해 방화 덮개 등으로 보호조치 해야 한다.
- (3) 용접작업장 주위에는 화재 종류에 적합한 소화기를 비치한다.
- (4) 상시 사용 가능한 소화설비(소화전, 소방차 대기 등)를 갖추어야 한다. ☞